

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin meningkatnya kebutuhan energi baik di dalam negeri maupun di dunia disebabkan oleh meningkatnya jumlah penduduk dan pabrik industri. Di Indonesia pembangkit listrik didominasi oleh bahan bakar minyak dan gas bumi yang merupakan sumber daya alam yang terbatas yang tidak dapat diperbaharui sehingga perlu dikembangkan pemanfaatan energi alternatif lainnya yang dapat diperbaharui. Salah satu energi alternatif yang mudah dan dapat digunakan adalah energi angin. Seperti yang kita ketahui bahwa angin merupakan udara yang bergerak yang diakibatkan rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Energi angin berpotensi untuk menggerakkan sebuah turbin, yaitu turbin angin. Potensi penggunaan turbin angin itu sendiri adalah di daerah pesisir dimana anginnya lebih kencang. Sebagai contoh nyata kemajuan pesat di bidang rekayasa ini adalah makin banyaknya penggunaan turbin angin.

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan manusia. Misalnya sebagai penggerak perahu-perahu layar untuk mengarungi luasnya lautan. Selain itu, energi angin juga dapat dimanfaatkan sebagai penggerak poros. Seperti yang telah digunakan oleh para petani yang memanfaatkan energi angin untuk mengairi sawahnya. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik, selanjutnya dengan menggunakan generator energi mekanik diubah menjadi energi listrik dengan menghubungkan poros turbin dengan generator.

Salah satu jenis turbin angin adalah turbin angin sumbu vertikal. Turbin ini memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus terhadap permukaan tanah. Kelebihannya adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik. Kelebihan ini juga berguna di tempat-tempat yang arah anginnya bervariasi. Turbin ini mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Performa dari turbin itu sendiri dapat dilihat dari daya poros, efisiensi turbin dan torsi yang dihasilkannya.

Sebuah konsep dan aplikasi baru penggunaan turbin angin di daerah perkotaan adalah dengan mengintegrasikannya pada suatu gedung yang tinggi. Turbin angin jenis VAWT (*Vertikal Axis Wind Turbine*) cocok diaplikasikan pada gedung tinggi di daerah

perkotaan sebab mampu bekerja pada kecepatan angin yang rendah dan dapat membangkitkan listrik untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik di gedung tersebut.

Sebuah contoh di Southwark, London telah dibangun 3 buah turbin angin berdiameter 9 m yang diintegrasikan pada lantai paling atas gedung dan ditujukan untuk meningkatkan efisiensi penerangan di dalam gedung tersebut. Proyek tersebut dikerjakan oleh Brian Dunlop Associates and Gas Dynamics meliputi analisis (*noise*) suara, getaran pada gedung, simulasi *software* aliran angin pada sebuah desain gedung dan simulasi *software* disuatu daerah perkotaan yang memiliki karakteristik pola aliran tertentu. Data dari Badan Meteorologi tidak memungkinkan untuk digunakan dalam desain awal sebab setiap perkotaan memiliki karakteristik aliran angin dinamik yang spesifik.

Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan oleh Marnoto (2011), dengan melakukan perhitungan yang matematis tentang turbin angin bilah bersirip dengan variasi panjang (0,3 m ; 0,215 m; 0,155 m), lebar bilah (0,3 m; 0,25 m; dan 0,2 m), jumlah sirip tiap bilah (10, 7, 5) dan variasi kecepatan angin antara 3,1-7,8 m/s dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi, daya poros dan torsi. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kincir angin bilah bersirip dapat berputar mulai kecepatan 3,1 m/s dan efisiensi mencapai 23,54%.

Dari penelitian sebelumnya yang dilaksanakan oleh Trifiananto (2012), dengan variasi kecepatan angin 3, 4, 5, 6, 7 m/s dan variasi panjang bilah 0,15; 0,2; 0,25 m telah diperoleh daya poros tertinggi yang dicapai turbin dengan panjang bilah 0,25 m yaitu sebesar 0,003053289 Watt pada kecepatan 7 m/s. Torsi yang tertinggi dicapai oleh turbin dengan panjang bilah 0,25 m dan kecepatan 7 m/s yaitu sebesar 0,000152571 Nm. Untuk efisiensinya yang tertinggi diperoleh pada bilah dengan panjang 0,25 m dan kecepatan angin 4 m/s sebesar 0,183853989 %.

Untuk memperoleh unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip yang optimal maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya adalah jumlah sirip pada setiap bilah. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jumlah sirip untuk suatu turbin angin tipe bilah bersirip agar dapat mencapai kerja maksimalnya, yaitu dengan memvariasikan jumlah sirip turbin angin tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana pengaruh jumlah sirip terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka untuk menjawab dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada dalam penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Turbin yang digunakan adalah turbin angin tipe bilah bersirip.
2. Udara sebagai fluida kerja.
3. Tidak memperhitungkan berat dari bilah turbin.
4. Tidak memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja pada bilah turbin.
5. Pengambilan data pada saat penelitian dilakukan saat putaran konstan.
6. Kinerja yang diteliti adalah torsi, daya poros dan efisiensi dari turbin angin tipe bilah bersirip.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sirip pada setiap bilah terhadap unjuk kerja turbin angin bilah bersirip.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini dapat diketahui sebagai berikut:

1. Sebagai media untuk mengaplikasikan teori yang diperoleh selama perkuliahan, khususnya mengenai mekanika fluida dan konversi energi.
2. Menambah pemahaman tentang energi alternatif yang mana dalam hal ini adalah energi angin untuk masyarakat.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai usaha pemanfaatan energi yang ramah lingkungan.
4. Dapat mengetahui unjuk kerja dari turbin angin bilah bersirip yang tergolong baru.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jurnal Terkait

Berdasar penelitian yang dilakukan oleh Marnoto (2011), turbin angin poros vertikal memiliki beberapa kelebihan antara lain adalah aman, mudah membangunnya, bisa dipasang tidak jauh dari tanah dan dapat menangkap angin dari berbagai arah sehingga tidak membutuhkan *yaw*. Bilah kincir angin dari turbin angin poros vertikal berputar secara horizontal pada sumbu vertikal terhadap tanah, sehingga setiap bilah turbin mengalami *headwind* dan *tailwind*. *Headwind* terjadi ketika arah bilah berlawanan dengan arah angin yang masuk sedangkan *tailwind* terjadi ketika arah bilah sama dengan arah angin yang masuk. *Headwind* cenderung menghambat rotasi sehingga dapat menyebabkan koefisien kincir turun maksimum sekitar 16% (R. Gasch & J. Twele, 2002). Masalah ini dapat dipecahkan dengan merancang bilah kincir khusus yang dapat memperkecil *headwind* dengan mekanisme buka tutup. Sirip sirip akan terbuka pada posisi bilah berlawanan arah dengan angin dan sebaliknya sirip-sirip akan menutup jika searah dengan arah angin karena dorongan angin itu sendiri.

Dari hasil penelitian kincir angin tipe bilah bersirip rata-rata dapat berputar pada kecepatan angin terendah 3,1 m/s. Pada penelitian tersebut diberikan variasi kecepatan angin antara 3,1-7,8 m/s dengan power 0,008-2,93W dan efisiensinya mencapai 2,17-23,54%. Efisiensi tertinggi dicapai oleh turbin dengan panjang bilah 0,215m, lebar bilah 0,3m, jumlah sirip tiap bilah 7, dan torsi 0,545.

#### 2.2 Angin

##### 2.2.1 Proses Terbentuknya Angin

Angin merupakan udara yang bergerak yang diakibatkan rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Udara akan memuai jika dipanaskan. Udara yang memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila ini terjadi, maka tekanan udara akan menjadi turun karena udaranya berkurang. Lalu udara disekitarnya yang dingin akan mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Lalu di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali (Daryanto, 2007).

Meskipun pada kenyatannya angin tidak dapat dilihat bagaimana bentuk wujudnya, namun masih dapat dilihat dan dapat diketahui keberadaannya melalui efek yang ditimbulkan pada benda-benda yang mendapat hembusan angin. Misalnya saja adalah ketika seorang anak bermain layang-layang yang memanfaatkan adanya angin atau bendera yang berkibar karena adanya hembusan angin. Adapun alat-alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kecepatan dan arah angin bertiup, diantaranya adalah:

1. *Anemometer*, yaitu alat untuk mengukur kecepatan angin.
2. *Wind vane*, yaitu alat untuk mengetahui arah mata angin.
3. *Windsock*, yaitu alat untuk mengetahui arah mata angin dan memperkirakan besar kecepatan angin. Biasanya alat ini ditemukan di bandara.

Selain dengan menggunakan alat-alat pengukur angin, arah, dan kecepatan angin juga dapat diukur atau diperkirakan dengan menggunakan tabel Skala Beaufort seperti terlihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Skala Beaufort

Skala Beaufort	Tingkatan	Kecepatan (m/s)	Tanda-tanda di darat
0	Tenang	<1	Tenang, asap mengepul vertical
1	Teduh	1-5	Asap mengepul miring, tapi <i>anemometer</i> tidak berputar
2	Sepoi lemah	6-11	Terpaan angin terasa di muka, <i>anemometer</i> berputar lambat
3	Sepoi lembut	12-19	Daun kecil d pohon bergerak, bendera dapat bergerak
4	Sepoi sedang	20-28	Debu dan kertas dapat terbang, ranting pohon bergerak
5	Sepoi segar	29-38	Pohon kecil terlihat condong, genangan air terlihat seperti ombak
6	Sepoi kuat	39-49	Batang pohon terlihat bergerak, suara desing dari kawat telpon terdengar, payung dapat terangkat
7	Angin ribut lemah	50-61	Pohon bergerak, berjalan terasa berat
8	Angin ribut	62-74	Batang-batang pohon dapat tertumbang karena ini

9	Angin ribut kuat	75-88	Dapat membuat kerusakan cerobong, pot-pot beterbangan
10	Badai	89-102	Kerusakan lebih besar, tapi jarang di darat
11	Badai amuk	103-117	Kerusakan berat, sering terjadi di darat
12	Topan	>117	Hampir tidak pernah terjadi

Sumber: Daryanto (2007)

Kecepatan angin pada ketinggian di mana turbin angin dipasang akan diekstrapolasi dari data yang didapat dengan mempertimbangkan kekasaran permukaan setempat dan lapisan batas atmosfer.

Menurut ilmu fisika, energi kinetik dengan sebuah benda dengan massa ( $m$ ) dan kecepatan ( $v$ ) dirumuskan sesuai dengan rumus 2-1 berikut, dengan ketentuan  $v$  tidak mendekati kecepatan cahaya.

$$E = 1/2m.v^2 \quad (\text{Bueche; 1991:46}) \quad (2-1)$$

dengan:

$E$  : Energi dari udara yang bergerak (Joule)

$m$  : Massa udara (kg)

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

Rumus 2-1 juga berlaku untuk angin yang merupakan udara yang bergerak. Bilamana suatu “blok” udara mempunyai penampang  $A$  dan bergerak dengan kecepatan  $v$ , maka jumlah massa yang melewati suatu tempat dapat dilihat dengan rumus 2-2 dibawah ini:

$$\dot{m} = \rho.v.A \quad (\text{White; 2001:133}) \quad (2-2)$$

dengan:

$\dot{m}$  : Laju alir massa (kg/s)

$\rho$  : Massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  : Kecepatan angin (m/detik)

$A$  : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah sesuai dengan rumus 2-3 dibawah ini:

$$\text{Energi} = \text{usaha/waktu} \quad (\text{Giancoli;1995:157}) \quad (2-3)$$

$$P = (1/2m.v^2)/t$$

$$P = 1/2. m/t. v^2$$

$$P = 1/2. \dot{m}. v^2$$

$$P = \rho \cdot A \cdot v^3$$

dengan:

P : Daya angin (Watt)

$\rho$  : Massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

v : Kecepatan angin (m/detik)

A : Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

### 2.2.2. Energi Angin

Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah landai maupun di daerah daratan tinggi, bahkan dapat di terapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air. Pemanfaatan energi angin selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, diharapkan juga dapat meningkatkan efektivitas dan efisien sistem pertanian, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas masyarakat pertanian (Daryanto, 2007).

Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian. Sampai tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0,5MW dari 9,29GW potensi yang ada (DESDM, 2005). Padahal kapasitas pembangkitan listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48GW pada akhir tahun 2004 yang tersebar dalam 74,400 turbin angin disekitar 60 negara (BTM Consults ApS, 2005).

Tabel 2.2 Pemanfaatan energi angin di Indonesia

Kelas	Kec. Angin (m/s)	Daya spesifik ( $\text{W/m}^2$ )	Kapasitas (kW)	Lokasi (wilayah)
Skala kecil	2,5-4	<75	0-10	Jawa, NTB,NTT, Maluku, Sulawesi
Skala menengah	4-5	75-150	10-100	NTB, NTT, Sulsel, Sultra, Selatan Jawa
Skala besar	>5	>150	>100	Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa

Sumber: Diolah dari Kementerian Riset dan Teknologi (2010)

Pada *altitude* tinggi, arah angin akan dipengaruhi oleh arah putaran bumi dan bergerak sejajar dengan garis isobar. Pada belahan utara, angin berputar melawan arah jarum jam, sementara pada belahan bumi selatan angin berputar searah jarum jam. Arah angin ditentukan oleh arah darimana angin itu berhembus. Jadi angin barat berarti angin yang berhembus dari barat ke timur (Kadir, 1996).

### 2.3 Klasifikasi Turbin Angin

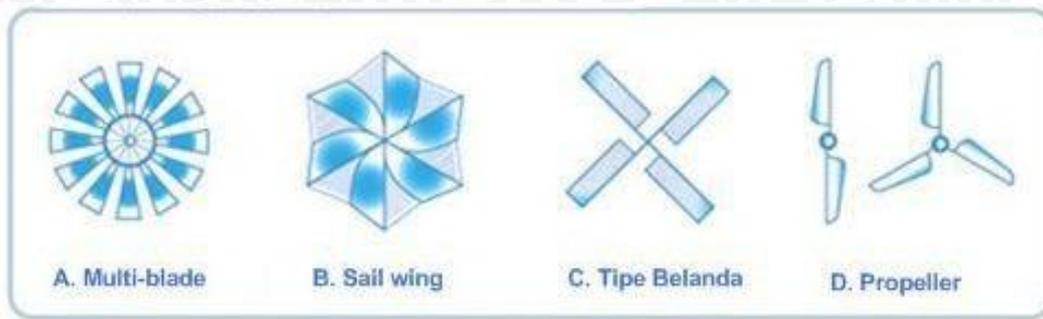
Turbin angin merupakan sebuah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Pada awalnya, turbin angin ini digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan para petani yang digunakan untuk melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya, turbin ini biasanya disebut juga dengan *windmill*. Dan saat ini, turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin (Daryanto, 2007).

Saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (contoh: PLTD, PLTU, dll), namun turbin masih dikembangkan lagi oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapi dengan masalah kekurangan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (contoh: batubara, minyak bumi, dll) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Turbin angin dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu: turbin angin sumbu horisontal dan turbin angin sumbu vertikal (Daryanto, 2007).

#### 2.3.1 Turbin Angin Poros Horisontal

Turbin angin yang mempunyai poros horisontal mempunyai bilah yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeller pesawat terbang. Gambar 2.1 memperlihatkan berbagai jenis turbin angin horisontal. Turbin angin biasanya memiliki bilah dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya bergerak lebih cepat dari udara disisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang bilah dan daerah tekanan tinggi di depan bilah. Perbedaan tekanan ini menimbulkan bilah berputar.

### Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT).



Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu Horisontal  
Sumber: Hau E (2006)

### 2.3.2. Turbin Angin Poros Vertikal

Ada berbagai tipe turbin angin poros vertikal yang sering digunakan, diantaranya adalah tipe *savonius*, tipe Darrieus, tipe H-Rotor.

#### a. Tipe *Savonius*

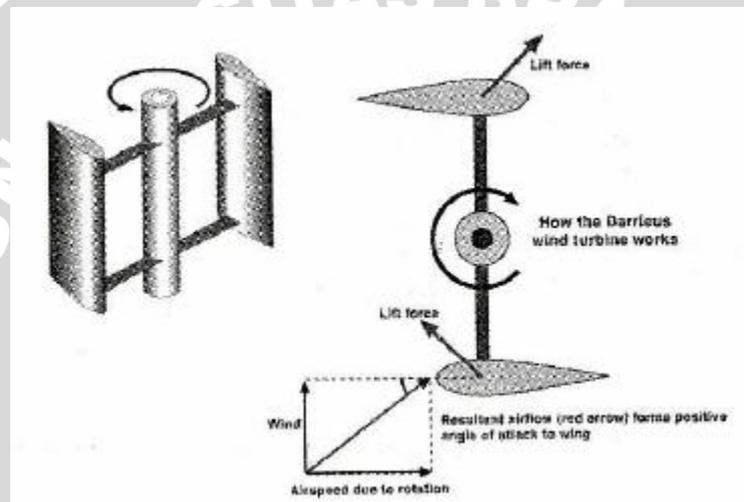
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, turbin ini diciptakan oleh seorang insinyur dari Finlandia SJ *Savonius* pada tahun 1929. Kincir pada turbin ini merupakan yang paling sederhana dan menjadi versi besar dari *anemometer*. Kincir *Savonius* dapat berputar karena adanya daya dorong dari angin sehingga putaran rotorpun tidak akan melebihi kecepatan angin. Meskipun daya koefisien untuk jenis turbin angin bervariasi antara 30% sampai 40%, menurut banyak peneliti untuk jenis turbin *Savonius* biasanya tidak lebih dari 25%. Jenis turbin ini cocok untuk aplikasi daya yang rendah dan biasanya digunakan pada kecepatan angin yang berbeda (*Savonius* SJ. The S-Rotor and its application : 1931).



Gambar 2.2 tiga-stack *savonius*  
Sumber: Marnoto Tjukup (2010)

### b. Tipe Darrieus

Tipe ini ditemukan oleh seorang insinyur Perancis George Jean Marie Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Ia memiliki 2 bentuk turbin yang digunakan diantaranya adalah “*eggbeater/curved bladed*” dan “*straightbladed*”. Sketsa dari kedua variasi konsep Darrieus ditunjukkan dalam gambar 2.4. kincir angin Darrieus mempunyai bilah-bilah yang disusun dalam posisi simetri dengan bilah-bilah yang diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan *Savonius*, kincir angin *Darrieus* bergerak dengan memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah-bilah turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.

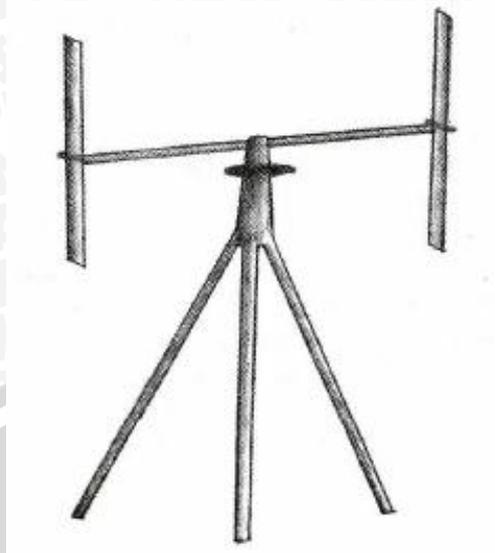


Gambar 2.3 Turbin Angin Tipe *Darrieus*

Sumber: Martono Tjukup (2010)

### c. Tipe H-Rotor

Tipe ini dikembangkan di Inggris melalui penelitian yang dilakukan selama 1970-1980an, diuraikan bahwa yang digunakan pada pisau berbilah lurus (*straight-bladed*) Darrieus tidak diperlukan, ternyata telah ditemukan bahwa efek hambatan yang diciptakan oleh sebuah pisau akan membatasi kecepatan aliran angin. Oleh karena itu, *H-Rotor* akan mengatur semua kecepatan angin untuk mencapai kecepatan putaran optimalnya.

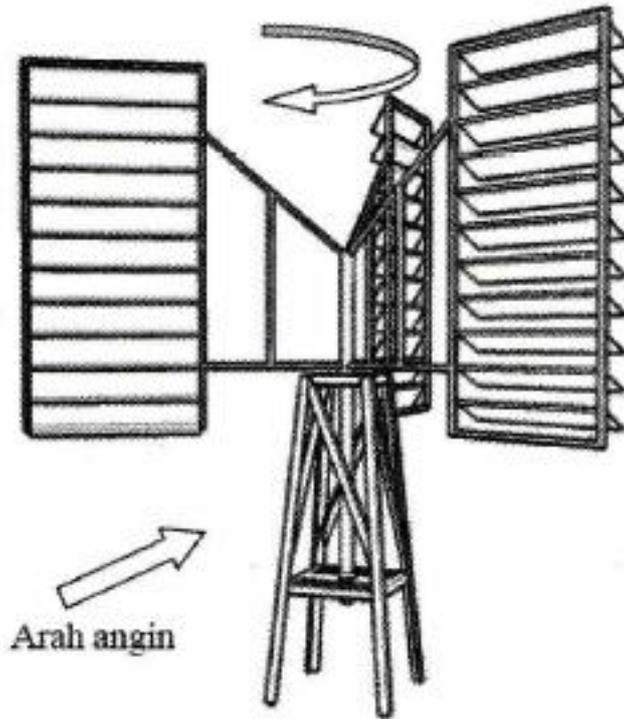


Gambar 2.4 Turbin Angin H-Rotor  
Sumber: Marnoto Tjukup (2010)

## 2.4. Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Bilah Bersirip

### 2.4.1. Tinjauan Umum Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Bilah Bersirip

Turbin jenis ini tergolong baru yang difokuskan pada peningkatan efisiensi, dengan model yang menurunkan energi *drag* penghambat dan memperluas kolektor energi *drag* (pendorong) sehingga akan meningkatkan efisiensi dan menurunkan kecepatan angin minimum yang dapat memutar turbin. Turbin angin yang dirancang ini memiliki 3 buah bilah bersirip, bilah ini bila berlawanan dengan arah mata angin dan putaran *rotor* maka sirip-sirip akan terbuka sehingga akan menurunkan energi *drag* (penghambat) sebaliknya jika posisi searah dengan arah angin dan putaran *rotor* sirip-sirip akan menutup karena dorongan angin itu sendiri sehingga meningkatkan daya dorong. Dengan rancangan baru ini dapat meningkatkan efisiensi konversi energi dan menurunkan kecepatan angin minimum untuk memutar turbin, sehingga turbin turbin ini dapat diterapkan pada semua lokasi yang memiliki kecepatan dan arah angin yang berubah-ubah.

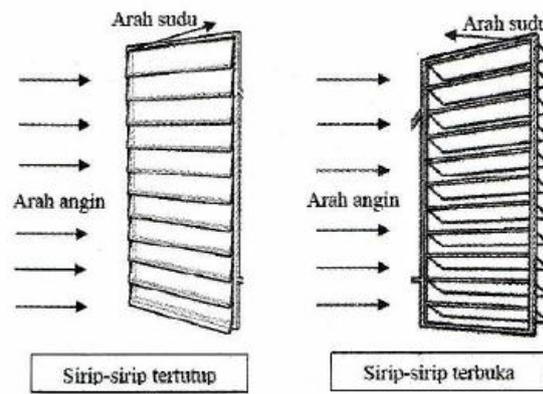


Gambar 2.5 model turbin angin bilah bersirip  
Sumber: Martono Tjukup (2010)

#### 2.4.2 Prinsip Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Bilah Bersirip

Turbin angin jenis ini memiliki prinsip kerja sama dengan turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh bilah menjadi energi mekanik pada poros atau *rotor*.

Perbedaan yang mencolok antara turbin angin poros vertikal tipe bilah bersirip dengan turbin angin lainnya adalah mekanisme buka-tutup sirip. Dimana sistem buka-tutup ini dimaksudkan untuk mengurangi gaya hambat yang dapat menyebabkan berkurangnya putaran poros. Sehingga luas bilah tidak berpengaruh terhadap daya penghambat, oleh karena itu luas bilah dapat dibuat lebar agar kolektor angin lebih besar. Dibawah ini adalah ilustrasi saat sirip membuka dan menutup.



Gambar 2.6 Ilustrasi Pergerakan Sirip Saat Membuka Dan Menutup.  
 Sumber: Martono Tjukup (2011)

Dari gambar diatas terlihat bahwa pada saat *tailwind* sirip-sirip tertutup dan *headwind* sirip-sirip terbuka. *Tailwind* adalah kondisi dimana arah bilah sama dengan arah angin. Sedangkan *headwind* terjadi ketika arah bilah berlawanan dengan arah angin masuk. Kondisi *headwind* cenderung memperlambat rotasi.

## 2.5 Unjuk Kerja Turbin Angin Vertikal Tipe Bilah Bersirip

Dalam pembahasan kali ini, parameter-parameter dari performasi turbin angin yang dibahas adalah torsi, *Brake Horse Power (BHP)*, efisiensi.

### 2.5.1 *Brake Horse Power (BHP)*

*Brake Horse Power (BHP)* adalah daya turbin yang diukur sebelum mengalami kerugian energi yang disebabkan oleh *gearbox*, pompa ataupun perangkat tambahan lainnya. Dalam percobaan nantinya *Brake Horse Power (BHP)* diukur dengan menggunakan motor listrik. Dengan mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan maka bisa diketahui besarnya daya, dengan menggunakan hukum ohm seperti pada rumusan.

$$P_{\text{motor}} = V.I \quad (\text{PT. PLN};2001:8) \quad (2-4)$$

dengan:

- $P_{\text{motor}}$  : Daya generator listrik (Watt)
- $V$  : Tegangan generator listrik (Volt)
- $I$  : Arus listrik (A)

Setelah didapatkan besarnya harga  $P_{\text{motor}}$  maka dapat dihitung besarnya BHP, seperti pada rumus berikut

$$\text{BHP} = \frac{P_{\text{motor}}}{\eta_{\text{motor}}} \quad (2-5)$$

dengan:

BHP : Daya poros generator listrik (Watt)

$P_{\text{motor}}$  : Daya generator listrik (Watt)

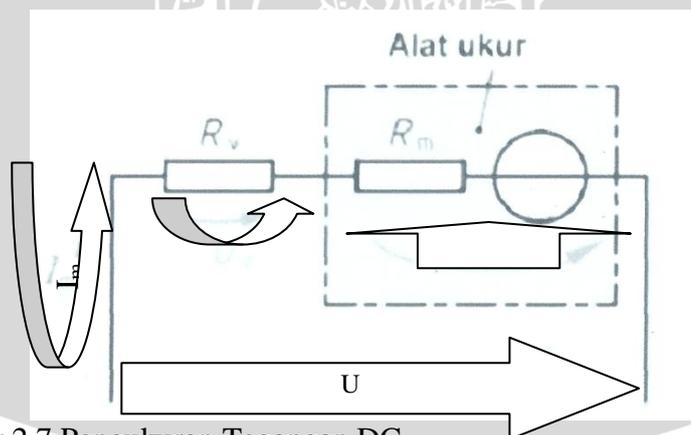
$\eta_{\text{motor}}$  : Efisiensi generator listrik (80%)

- **Prinsip Pengukuran Tegangan Dan Arus DC**

Pengukuran tegangan dan arus listrik dilakukan dengan menggunakan digital multimeter. Alat ukur ini banyak digunakan dalam pengukuran tegangan dan arus listrik karena praktis, mempunyai akurasi tinggi dan mudah dioperasikan. Digital multimeter mampu menampilkan beberapa pengukuran untuk arus miliAmpere, temperature °C, tegangan milivolt, resistansi ohm, frekuensi Hz, daya listrik mW sampai kapasitansi.

- ❖ **Pengukuran Tegangan DC**

Tegangan DC dapat diukur dengan menggunakan voltmeter, prinsip kerjanya semakin tinggi arus yang melewati voltmeter maka semakin besar medan magnet yang dihasilkan sehingga pembacaan pada layar semakin besar pula. Pengukuran voltmeter memiliki tahanan meter  $R_m$  seperti pada gambar 2.8. tahanan dalam meter juga menunjukkan kepekaan meter, disebut *fsd (full scale deflection)* arus yang diperlukan untuk menggerakkan jarum meter pada skala penuh. Untuk menaikkan batas ukur voltmeter harus dipasang tahanan seri sebesar  $R_v$ .

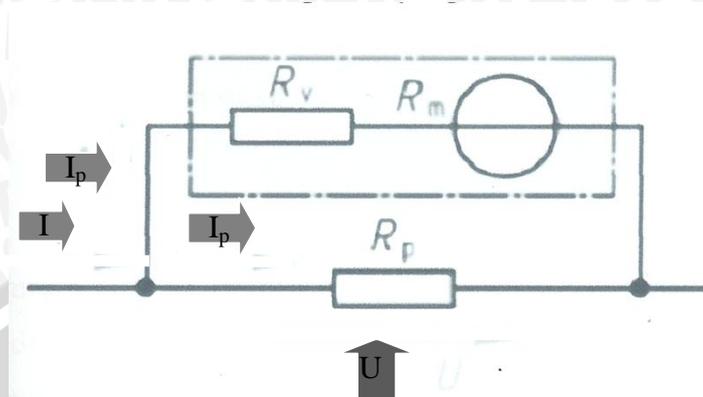


Gambar 2.7 Pengukuran Tegangan DC  
Sumber: PT. PLN (2001)

- ❖ **Pengukuran Arus DC**

Untuk pengukuran arus DC itu sendiri dapat menggunakan alat Amperemeter. Namun alat ukur ini memiliki keterbatasan untuk dapat mengukur arus, tahanan, dalam meter  $R_m$  membatasi kemampuan batas ukur. Menaikkan batas ukur dilakukan dengan

memasang tahanan parallel Rp dengan Amperemeter gambar 2.8 tahanan Rp akan dialiri arus sebesar Ip, arus yang melalui Rm sebesar Im.



Gambar 2.8 Pengukuran Arus DC  
 Sumber: PT. PLN (2001)

**2.5.2 Torsi**

Torsi juga bisa disebut dengan momen atau momen gaya yang menyebabkan suatu benda berputar pada sumbu tertentu. Torsi juga dapat didefinisikan sebagai keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut (Bueche, 1988 :16). Besarnya torsi juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2-6).

$$T = \frac{P}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} \quad \text{(Musthofa Lutfi; 2008; 232)} \quad (2-6)$$

dengan:

- T : Torsi (Nm)
- P : Daya generator listrik (Watt)
- n : Putaran generator listrik (rpm)

**2.5.3 Efisiensi**

Efisiensi merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan (Fox, 1994) yang biasanya digunakan untuk menyatakan performa suatu mesin. Lebih sederhananya, efisiensi adalah perbandingan antara input dan output yang dinyatakan dalam persen. Seperti pada rumus 2-7 berikut ini,

$$\eta = \frac{P_{usefull}}{P_{input}} \times 100\% \quad \text{(Fox; 1994; 570)} \quad (2-7)$$

dengan:

- $\eta$  : Efisiensi (%)



$P_{\text{usefull}}$  : Daya yang bermanfaat (Watt)

$P_{\text{input}}$  : Daya angin (Watt)

## 2.6 Teori dan Persamaan

### 2.6.1 Teori Betz

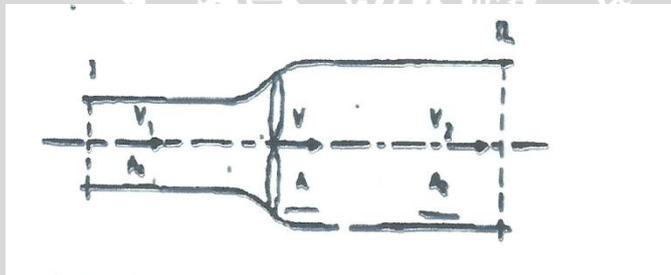
Betz merupakan seorang sarjana yang dianggap telah pertama kali memperkenalkan teori tentang turbin angin, ia mengasumsikan bahwa suatu turbin ideal merupakan rotor tanpa naf(hub) dan mempunyai bilah-bilah yang tak terhingga jumlahnya tanpa hambatan (Reksoatmojo,2004). Juga diasumsikan bahwa aliran udara di depan dan di belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (laminar). Jika  $V_1$ = kecepatan di depan rotor,  $V_2$ = kecepatan di belakang rotor, dan  $V$  = kecepatan angin pada saat melewati rotor, maka berdasarkan persamaan kontinuitas:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (\text{Reksoatmodjo; 2004; 67}) \quad (2-8)$$

dengan:

$A$  : Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$V$  : Kecepatan alir udara ( $\text{m/s}$ )



Gambar 2.9 Asumsi Teori Betz  
Sumber: Reksoatmodjo, 2004

Selanjutnya berdasarkan teorema Euler, gaya yang bekerja pada rotor adalah sebagai berikut :

$$F = \rho \cdot A \cdot V(V_1 - V_2) \quad (2-9)$$

Karena gaya kinetik yang diserap oleh rotor, maka:

$$P = F \cdot V = \rho \cdot A \cdot V^2(V_1 - V_2) \quad (2-10)$$

Selisih energi kinetik di depan dan di belakang rotor dapat dihitung dengan persamaan

Bernoulli:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V(V_1^2 - V_2^2) \quad (2-11)$$

### 2.6.2 Coefficient of Power ( $C_p$ )

$C_p$  atau power faktor dapat didefinisikan sebagai rasio antara daya turbin pada poros ( $P_t$ ) dengan daya angin ( $P_w$ ) karena energi kinetiknya sebelum mengenai permukaan bilah turbin (Sargolzaei, 2007), berikut ini adalah persamaannya:

$$C_p = P_t/P_w \quad (\text{Sargolzaei, 2007:52}) \quad (2-12)$$

dengan:

$C_p$  : Coefficient of power

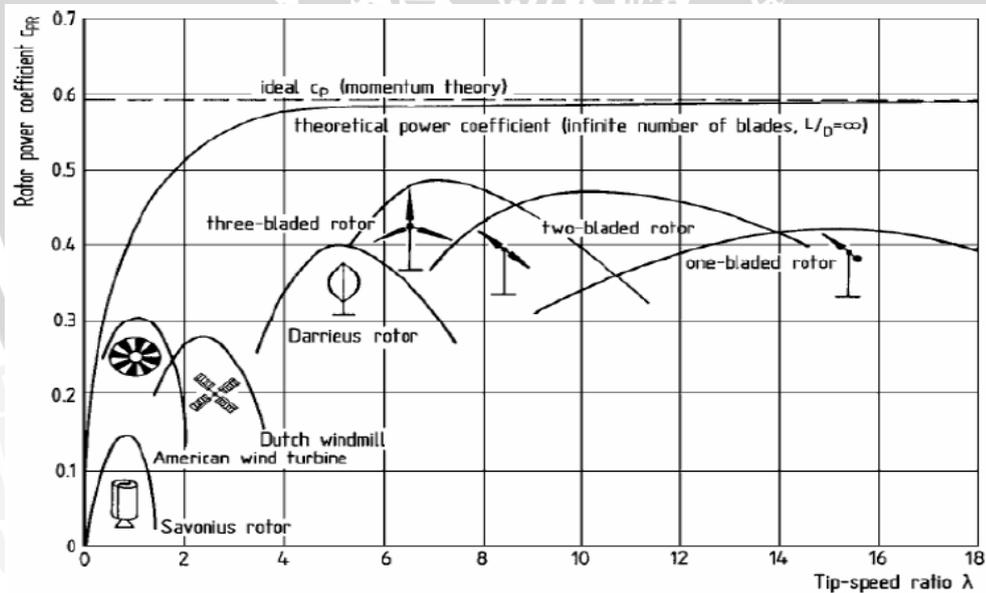
$P_t$  : Daya pada poros turbin (Watt)

$P_w$  : Daya angin (Watt)

Hasil dari persamaan di atas adalah bilangan tanpa satuan yang menyatakan factor keefektifan dari daya yang dihasilkan dengan arah putaran turbin yang sama. Sehingga bentuk dari bilah sangat berpengaruh pada  $C_p$ .

### 2.6.3 Daya pada Turbin Angin Bilah Bersirip

Besarnya gaya yang dapat dibangkitkan dari putaran rotor turbin angin bilah bersirip dapat dihitung melalui pendekatan sebuah teori, yaitu teori Betz. Percobaan Betz itu sendiri dapat dilihat pada gambar (2-11) berikut ini:



Gambar 2.10 Performance of Main Conventional Wind Machines

Sumber: Hau, 2006

Berdasarkan teori Betz yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada gambar 2.11 diatas, menjelaskan bahwa suatu turbin angin terbaik dengan tipe apapun tidak

mungkin akan menghasilkan efisiensi rotor yang melebihi angka 56%. Nilai dari efisiensi 56% ini juga sering disebut juga dengan Betz Limit.

Nilai  $C_p$  untuk satu tipe turbin angin tidak selalu sama hal ini dikarenakan nilai  $C_p$  merupakan fungsi dari tip speed ratio atau  $\lambda$ . Untuk mengetahui nilai  $C_p$  maksimal yang mampu dihasilkan oleh sebuah turbin angin, maka sangat perlu diketahui terlebih dahulu besarnya nilai tiap speed ratio yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (\text{Fox, 1994: 579}) \quad (2-13)$$

dengan :

- $\omega$  : Kecepatan bilah =  $\frac{2\pi n}{60}$   
 R : Radius rotor (m)  
 v : Kecepatan angin (m/s)

Dengan diketahuinya besar nilai dari  $\lambda$  dapat ditarik suatu garis lurus vertikal pada grafik gambar 2.11 untuk mengetahui berapa besarnya bilai dari  $C_p$  maksimum. Pada turbin angin *Savonius* dengan tinggi rotor H, serta jari-jari rotor R, dan dikenai aliran angin berkecepatan V, maka daya maksimumnya adalah seperti persamaan berikut:

$$P_{\text{aktual}} = C_p \cdot \rho \cdot R \cdot H \cdot v^3 \quad (\text{Menet, 2004: 20}) \quad (2-14)$$

dengan:

- $P_{\text{aktual}}$  : Daya aktual pada turbin (Watt)  
 $C_p$  : *Coefficient of power*  
 $\rho$  : Massa jenis udara ( $\text{Kg/m}^3$ )  
 R : Jari-jari bilah (m)  
 H : Tinggi bilah (m)  
 v : Kecepatan angin (m/s)

Kemudian untuk  $P_{\text{teoritis}}$ , besarnya nilai daya maksimum dapat diketahui dari putaran poros rotor turbin angin *Savonius* saat mengkonversikan energi kinetik aliran angin.

## 2.7 Hipotesa

Semakin sedikit jumlah sirip pada suatu bilah turbin angin bertipe bilah bersirip maka akan semakin berkurang putaran pada rotor, sehingga berkurangnya rotor akan

mengakibatkan daya poros juga akan berkurang begitu juga dengan efisiensi dari turbin angin vertikal tipe bilah bersirip akan berkurang. Begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan ketika arah angin berlawanan dengan arah bilah, angin akan lebih banyak menumbuk pada bilah dengan jumlah sirip yang sedikit jika dibandingkan dengan bilah dengan jumlah sirip yang lebih banyak.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Metode eksperimental itu sendiri adalah melakukan pengamatan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses yang dilakukan melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh putaran dan jumlah sirip terhadap performansi pada turbin angin vertikal tipe bilah bersirip.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Tempat untuk melakukan penelitian ini adalah di Laboratorium Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan waktu pelaksanaannya dilakukan pada bulan April 2013 – Desember 2013.

#### 3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan untuk mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan sehingga dapat menguatkan dalam pengambilan hipotesa serta memperjelas hasil penelitian.

##### 2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk studi terhadap peralatan-peralatan yang diperlukan dalam penelitian.

##### 3. Pembuatan Alat

Pembuatan alat dimulai dengan membuat kerangka bilah turbin berbentuk kotak yang terbuat dari akrilik, kemudian dibuat sirip-sirip yang bahan dasarnya adalah mika dan poros turbin menggunakan aluminium.

##### 4. Perancangan Instalasi

Pada perancangan instalasi dimulai dengan membuat bilah dari bahan akrilik dan sirip yang terbuat dari mika, kemudian pemasangan poros yang terbuat dari aluminium pada bilah, dan yang terakhir penempatan semua alat pada turbin.

#### 5. Pengambilan Data

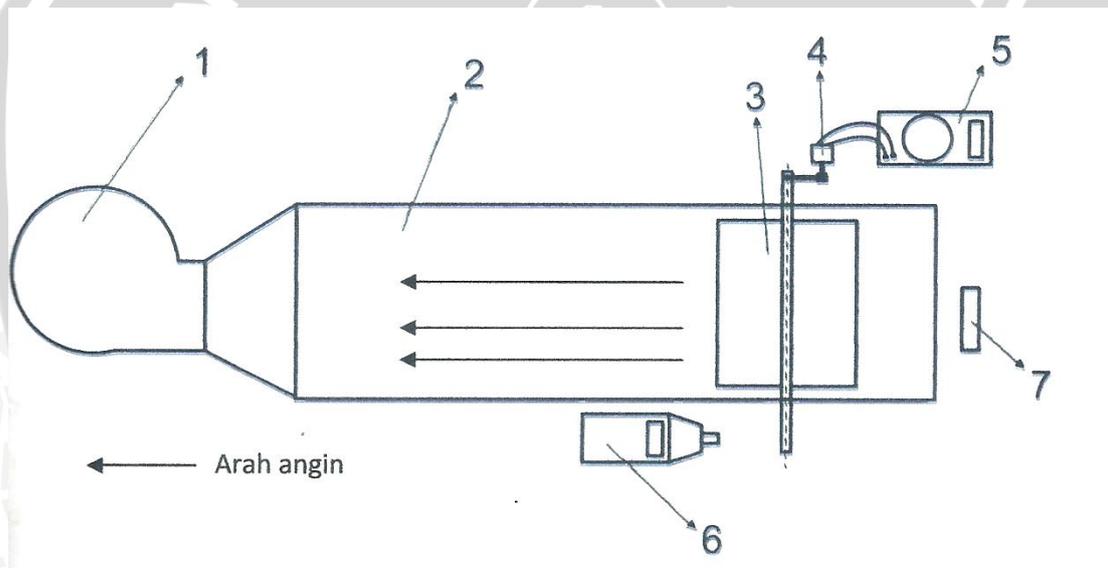
Pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah voltase, arus, dan putaran. Untuk setiap variasi jumlah sirip dilakukan 3 kali pengambilan data kemudian dirata-rata.

#### 6. Pengolahan dan Pembahasan

Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pengolahan data dengan cara perhitungan dengan rumus-rumus tertentu untuk mendapatkan nilai unjuk kerja turbin. Kemudian nilai-nilai tersebut dibentuk menjadi suatu grafik yang nantinya pada grafik tersebut akan dilakukan pembahasan.

### 3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian dapat dilihat seperti pada gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Insatalsi Turbin

Keterangan:

1. *Blower*
2. *Wind tunel*
3. Turbin angin vertical bilah bersirip
4. Generator listrik
5. *Digital multitester*
6. *Digital tachometer*
7. *Anemometer*

### 3.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah seperti sebagai berikut ini:

#### 1. Anemometer

Anemometer yang ditunjukkan pada gambar 3.2 merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kecepatan angin dari *wind tunnel*. Dalam penelitian ini menggunakan kecepatan angin dalam satuan m/s.



Gambar 3.2 Anemometer

Sumber : Anonymous 1, 2013

Spesifikasi:

<i>Measuring Range</i>	: -10-45°C
<i>Wind speed measuring range</i>	: 0,3-30 m/s °C/°F selection
<i>Accuracy of temperature</i>	: ± 2°C
<i>Accuracy of wind speed</i>	: ±5%
<i>Resolution</i>	: 0,1 m/s 0,2 °C
<i>Measuring unit</i>	: m/s, Ft/min, Knots, Km/hr, Mph

#### 2. Blower

Alat ini digunakan untuk menggerakkan angin menuju turbin. Segingga dapat menyebabkan turbin berputar akibat tumbukan angin dari *blower*. Bentuk dari *blower* itu sendiri dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3 *blower*

Sumber: Laboratorium Fluida Universitas Brawijaya

Spesifikasi:

Type	: U 7181 No. 7076-2977
Model	: 4C 668A
Daya	: 1/6 Hp
Putaran max	: 1600 rpm
Voltase	: 115/230 V
Frekuensi	: 50-60 Hz
Ampere	: 2,6-1,3 A

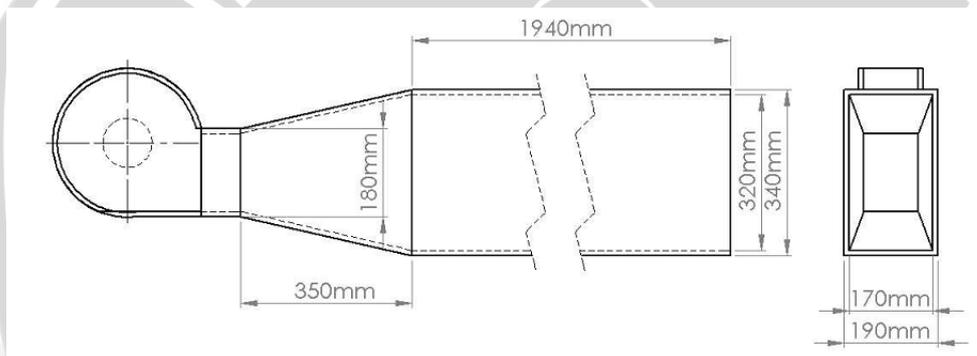
### 3. *Wind tunel*

Alat ini digunakan sebagai terowongan angin yaitu terowongan angin yang mengalirkan udara dari *blower* menuju turbin. *Wind tunel* yang digunakan adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 *Wind tunnel*

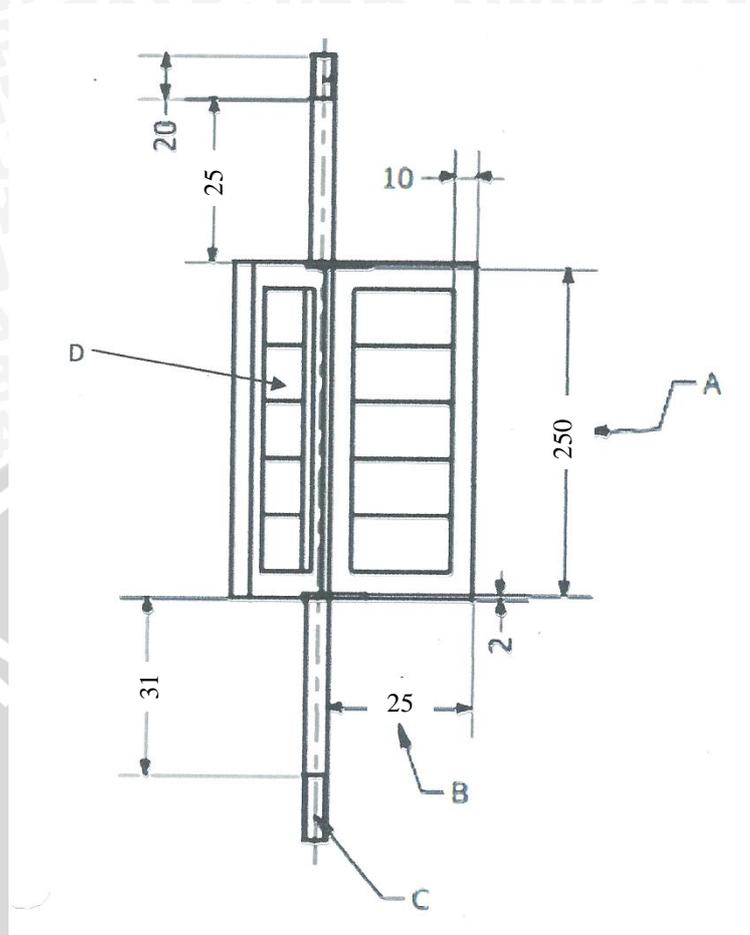
Sumber: laboratorium Fluida Universitas Brawijaya



Gambar 3.5 Spesifikasi *wind tunnel*

#### 4. Bilah turbin angin vertikal bilah bersirip

Bilah yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari alumunium dengan poros yang terbuat dari alumunium jada dan sirip yang terbuat dari mika plastik. Penentuan besarnya panjang dan lebar bilah ditentukan sesuai dengan ukuran *windtunnel* yang terdapat pada Laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Sehingga dengan ditentukannya ukuran panjang dan lebar pada bilah yang sesuai dengan *windtunnel* akan diperoleh hasil yang maksimal.



Gambar 3.6 Desain Bilah Turbin

Keterangan gambar:

- A : panjang bilah yang dibuat tetap 0,25 m (menyesuaikan *windtunnel*)
- B : lebar bilah yang dibuat tetap 0,06 m (menyesuaikan *windtunnel*)
- C : poros yang terbuat dari alumunium
- D : sirip dari bahan *acrylic* (jumlahnya divariasikan mulai 3 buah, 5 buah, dan 7 buah)

##### 5. Digital tachometer

*Digital tachometer* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7 digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari poros turbin dalam rpm.



Gambar 3.7 *Digital Tachometer*

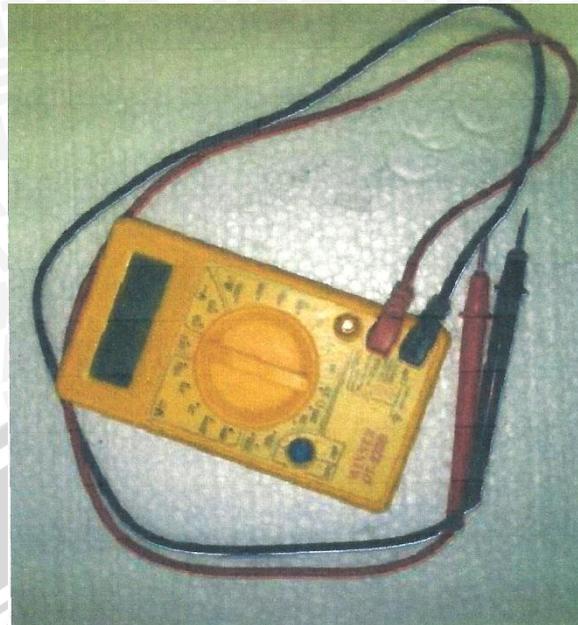
Sumber: Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Spesifikasi:

<i>Display</i>	: 5 digit 18mm LCD
<i>Accuracy</i>	: 0.05% + 1 digit
<i>Sampling time</i>	: 0.5 sec (over 120 rpm)
<i>Memory</i>	: Max value, Min. value, Last value
<i>Test range</i>	: 2.5-99999 rpm
<i>Detecting distance</i>	: 50-500 mm
<i>Battery</i>	: 4x1.5 V AAA

#### 6. *Digital multitester*

*Multitester* digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan motor listrik serta mengukur hambatan *resistor*. Alat yang digunakan adalah seperti pada gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 *Digital multimeter*

Sumber: Laboratorium Fluida Universitas Brawijaya

Spesifikasi:

<i>Merk</i>	: CADIC
<i>Type</i>	: Cadic 32B
<i>Battery voltage</i>	: 9V
<i>Display</i>	: 9 digits 18mm
<i>DC Volt</i>	: 0-1000 V
<i>AC Volt</i>	: 0-750 V
<i>Ampere Max</i>	: 200 mA
<i>10A unfused</i>	
<i>Ohm Max</i>	: 2000 kOhm
<i>Battery</i>	: 4x1.5V AAA Battery 29

## 7. Generator listrik

Untuk mengukur daya pada turbin, digunakan sebuah motor listrik yang nantinya akan menghasilkan tegangan listrik yang kemudian diukur dengan *digital multimeter*. Gambar motor listrik dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Generator Listrik  
Sumber: Laboratorium Fluida Universitas Brawijaya

Spesifikasi:

Tipe	: A – 130
<i>RPM with load</i>	: 1500
<i>Voltage</i>	: 9 V DC
Efisiensi	: 80 %

### 3.6 Variabel Penelitian

Variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Variable bebas

Variable bebas adalah variable yang tidak dipengaruhi oleh variable yang lain.

Variable bebas dalam penelitian ini adalah:

- Jumlah sirip: 3 buah, 5 buah, 7 buah.
- Kecepatan angin: 3, 4, 5, 6, 7 m/s

#### 2. Variable terikat

Variable terikat adalah variable yang dipengaruhi oleh variable bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- Torsi yang dihasilkan oleh turbin angin bilah bersirip.
- Daya poros yang dihasilkan oleh turbin angin bilah bersirip.
- Efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin bilah bersirip.

#### 3. Variabel terkontrol

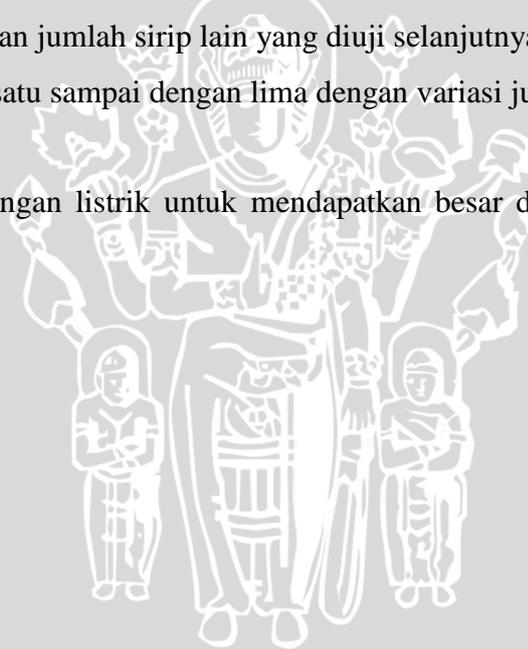
Vaieabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dikondisikan konstan. Dalam variabel terkontrol ini variabel terkontrolnya adalah:

- Jumlah bilah sebanyak 3 buah
- Panjang dan lebar bilah adalah 25 cm dan 6 cm
- Penelitian dilakukan pada suhu 27°C

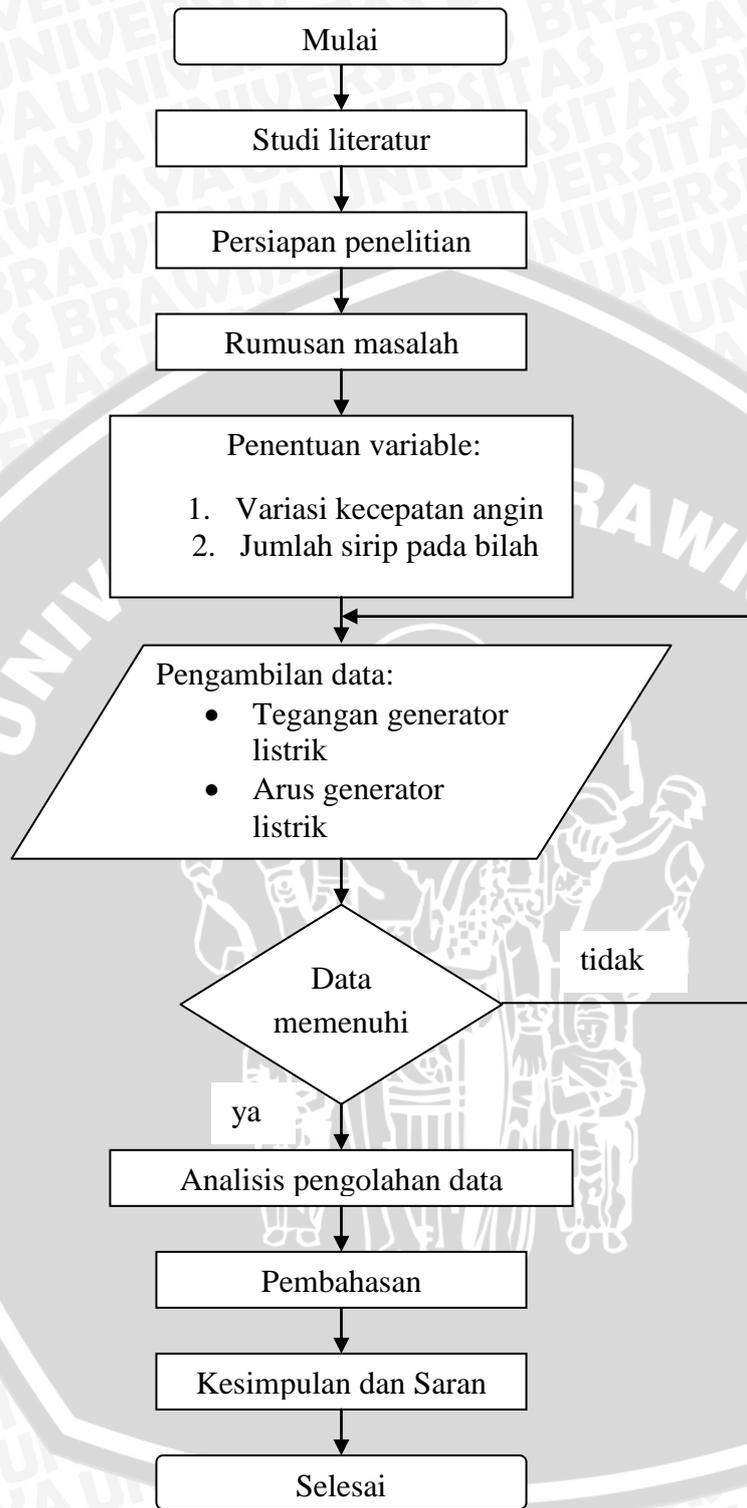
### 3.7 Metode Pengambilan Data

Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan instalasi *wind tunnel* dan turbin angin dengan tinggi bilah yang telah ditentukan sebagai variable terkontrol.
2. Pengambilan data dimulai setelah mengalirkan udara dari *wind tunnel* ke seluruh instalasi turbin angin. Kecepatan angin diatur dengan melihat *anemometer*, dimana kecepatan dimulai dari 3 m/s sampai kecepatan m/s. kecepatan angindiatur dengan mengatur bukaan katup pada *blower*.
3. Pengambilan data pada penelitian ini berupa putaran pada poros dengan menggunakan *digital tachometer*.
4. Pengambilan data berupa tegangan yang dihasilkan motor listrik menggunakan *digital multimeter*.
5. Mengulangi langkah satu sampai empat sebanyak 3 kali.
6. Mengganti bilah dengan jumlah sirip lain yang diuji selanjutnya.
7. Mengulangi langkah satu sampai dengan lima dengan variasi jumlah sirip pada bilah yang tetap.
8. Pengolahan data tegangan listrik untuk mendapatkan besar daya poros, torsi, dan efisiensi.



3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian pengaruh jumlah sirip terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip

- Tabel 4.1 Data pengujian tegangan motor listrik (V)

Jumlah Sirip	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Motor Listrik (V)			Rata-rata
3	3	0,39	0,37	0,41	0,39
	4	0,72	0,74	0,74	0,73
	5	1,17	1,18	1,14	1,163
	6	1,69	1,68	1,69	1,697
	7	1,92	1,95	1,94	1,937
5	3	0,48	0,49	0,49	0,487
	4	0,92	0,95	0,94	0,937
	5	1,23	1,25	1,26	1,247
	6	1,97	1,98	1,98	1,977
	7	2,15	2,20	2,22	2,190
7	3	0,66	0,67	0,66	0,663
	4	1,01	1,02	1,04	1,023
	5	1,81	1,87	1,88	1,853
	6	2,11	2,13	2,14	2,127
	7	2,31	2,40	2,37	2,360



• Table 4.2 Data pengujian kuat arus motor listrik (A)

Jumlah Sirip	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Motor Listrik (A)			Rata-rata
3	3	0,0039	0,0037	0,0041	0,00390
	4	0,0072	0,0074	0,0074	0,00730
	5	0,0117	0,0118	0,0114	0,01163
	6	0,0169	0,0168	0,0169	0,01687
	7	0,0192	0,0195	0,0194	0,01937
5	3	0,0048	0,0049	0,0049	0,00487
	4	0,0092	0,0095	0,0094	0,00937
	5	0,0123	0,0125	0,0126	0,01247
	6	0,0197	0,0198	0,0198	0,01977
	7	0,0215	0,0220	0,0222	0,02190
7	3	0,0067	0,0066	0,0066	0,00663
	4	0,0101	0,0102	0,0104	0,01023
	5	0,0181	0,0187	0,0188	0,01853
	6	0,0211	0,0213	0,0214	0,02127
	7	0,0231	0,0240	0,0237	0,02360



• Table 4.3 Data pengujian putaran poros turbin (rpm)

Jumlah Sirip	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Poros Turbin (rpm)			Rata-rata
3	3	50	51	49	50,00
	4	89	90	87	88,67
	5	99	102	107	102,67
	6	139	140	141	140,00
	7	152	154	157	154,33
5	3	59	60	62	60,33
	4	102	111	116	109,33
	5	126	132	133	130,33
	6	153	160	159	157,33
	7	171	175	174	173,33
7	3	77	74	75	75,33
	4	117	115	120	117,33
	5	140	145	142	142,33
	6	161	166	165	164,00
	7	180	183	182	181,67

#### 4.1.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai daya poros, torsi dan efisiensi turbin angin tipe bilah bersirip dengan pengaruh jumlah sirip. Di bawah ini adalah contoh perhitungan data hasil penelitian untuk jumlah sirip 5 buah dan kecepatan 5 m/s.

Contoh perhitungan:

Data yang diperoleh saat penelitian adalah sebagai berikut:

- Panjang bilah (p) : 0,25 m
- Lebar bilah (l) : 0,06 m
- Hambatan : 100  $\Omega$
- Efisiensi motor listrik ( $\eta$ ) : 80%
- Kecepatan angin (v) : 3-7 m/s
- Temperatur udara ruangan (T) : 27°C

Dari temperatur udara pada 27°C tersebut didapatkan nilai massa jenis udara sebagai berikut (berdasar tabel viskositas dan massa jenis udara pada tekanan 1 atm (J.P Holman, 1997 : 589) :

- Massa jenis udara ( $\rho$ ) : 1,18 kg/m<sup>3</sup>

Contoh perhitungan data:

Luas penampang turbin (A)

$$A = p.l$$

$$A = 0,25 \text{ m} \cdot 0,06 \text{ m}$$

$$A = 0,015 \text{ m}^2$$

- Daya angin ( $P_{\text{angin}}$ ), pada kecepatan angin (v) = 5 m/s

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,18 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,015 \text{ m}^2 \cdot (5)^3 \text{ m/s}$$

$$= 3,9825 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$$

- Daya Poros (BHP), pada kecepatan angin (v) = 5 m/s

Didapatkan tegangan listrik (V) = 2,19 Volt dan arus (I) = 0,0219 Ampere

$$\text{BHP} = \frac{V.I}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,0219 \cdot 2,19}{80\%}$$

$$\text{BHP} = 0,043 \text{ Watt}$$

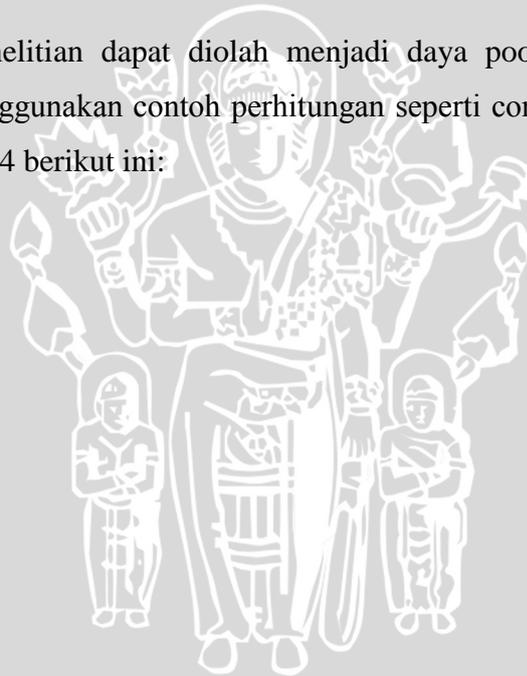
- Torsi (Nm)

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \\ &= \frac{0,0219 \cdot 2,19}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,172} \\ &= 0,0023 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Efisiensi ( $\eta$ )

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{BHP}}{P_{\text{angin}}} 100\% \\ &= \frac{0,002305643}{3,9825} 100\% \\ &= 1,078\% \end{aligned}$$

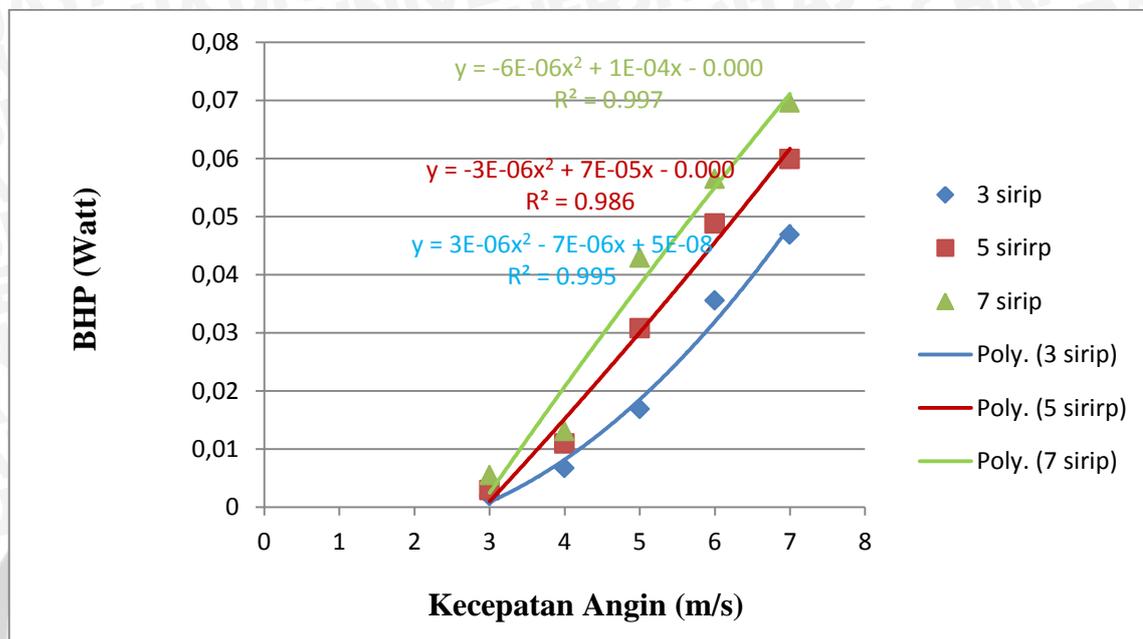
Dari data-data hasil penelitian dapat diolah menjadi daya poos (BHP), Torsi (T), Efisiensi ( $\eta$ ) dengan menggunakan contoh perhitungan seperti contoh di atas. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini:





## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin terhadap Brake Horse Power (BHP)



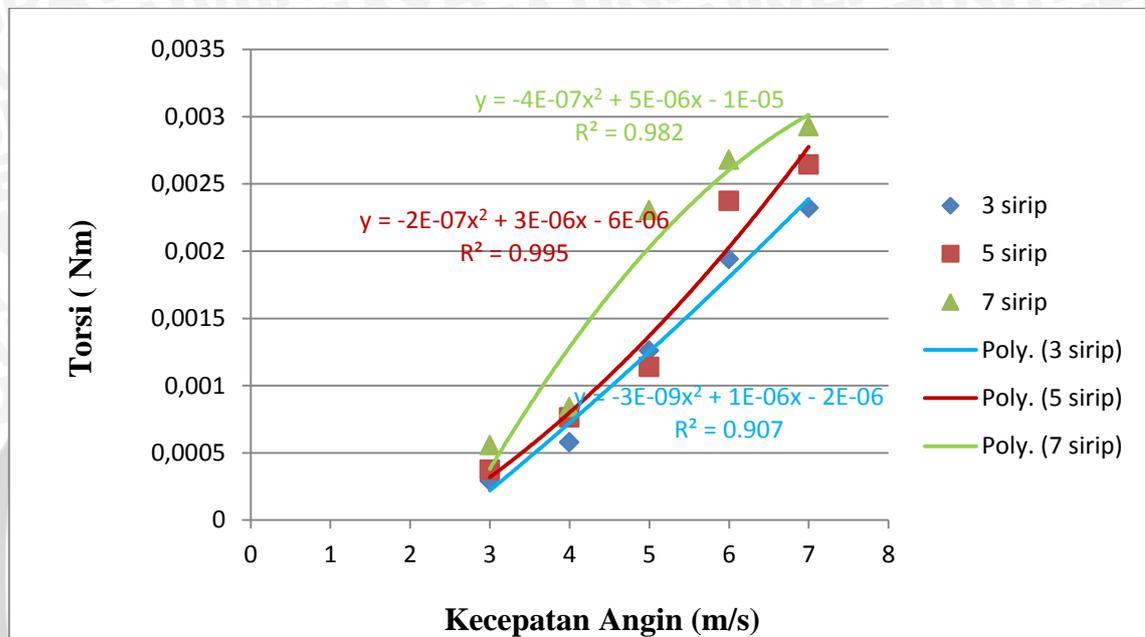
Gambar 4.1 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap BHP

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa kecenderungan grafik semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Hal ini dapat disebabkan karena adanya momentum angin yang menumbuk bilah turbin angin bersirip meningkat setiap detiknya sehingga daya drag dan torsi untuk memutar turbin tersebut juga semakin besar. Pada kecepatan angin yang sama semakin banyak sirip pada bilah turbin maka akan semakin bertambah pula BHP yang dihasilkan karena ketika arah angin berlawanan dengan arah bilah, angin akan lebih banyak menumbuk pada bilah dengan jumlah sirip yang sedikit jika dibandingkan dengan bilah dengan jumlah sirip yang banyak. Untuk bilah yang jumlah siripnya sedikit luas bidang tangkapnya semakin besar jika dibandingkan dengan jumlah sirip yang banyak. Pada bilah dengan sirip yang sedikit akan memungkinkan terbentuknya sudut yang lebih kecil saat sirip terbuka jika dibandingkan dengan jumlah sirip yang lebih banyak.

Dari grafik diatas dapat kita lihat pula bahwa nilai BHP dari yang terendah sampai yang tertinggi pada turbin angin tipe bilah bersirip dicapai oleh bilah dengan jumlah sirip 3 buah kemudian bilah dengan jumlah sirip 5 buah dan yang terakhir bilah dengan jumlah sirip 7 buah. BHP tertinggi yang dicapai oleh bilah dengan jumlah sirip 7 buah adalah  $6,968 \times 10^{-2}$  Watt. Kemudian untuk bilah dengan jumlah sirip 5 buah

adalah  $5,99 \times 10^{-2}$  Watt. Lalu untuk bilah dengan jumlah sirip dengan 3 buah adalah  $4,69 \times 10^{-2}$  Watt. Dan untuk masing-masing jumlah sirip pada suatu bilah yang mendapatkan nilai BHP tertinggi terjadi pada saat kondisi kecepatan angin 7 m/s.

#### 4.2.2 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin terhadap Torsi



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap torsi

Dari grafik diatas terlihat bahwa kecenderungan grafik meningkat dimana torsi untuk turbin tersebut meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Hal tersebut disebabkan karena adanya gaya drag yang bekerja pada bilah turbin juga semakin besar, sehingga mengakibatkan torsi menjadi naik. Kenaikan torsi tersebut dikarenakan daya poros yang juga semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Kenaikan nilai BHP itu sendiri dikarenakan putaran poros yang semakin meningkat sehingga dihasilkan voltase dan arus yang besar pula pada turbin angin tipe bilah bersirip, oleh karena itu nilai BHP berbanding lurus dengan daya motor. Seperti pada rumus :

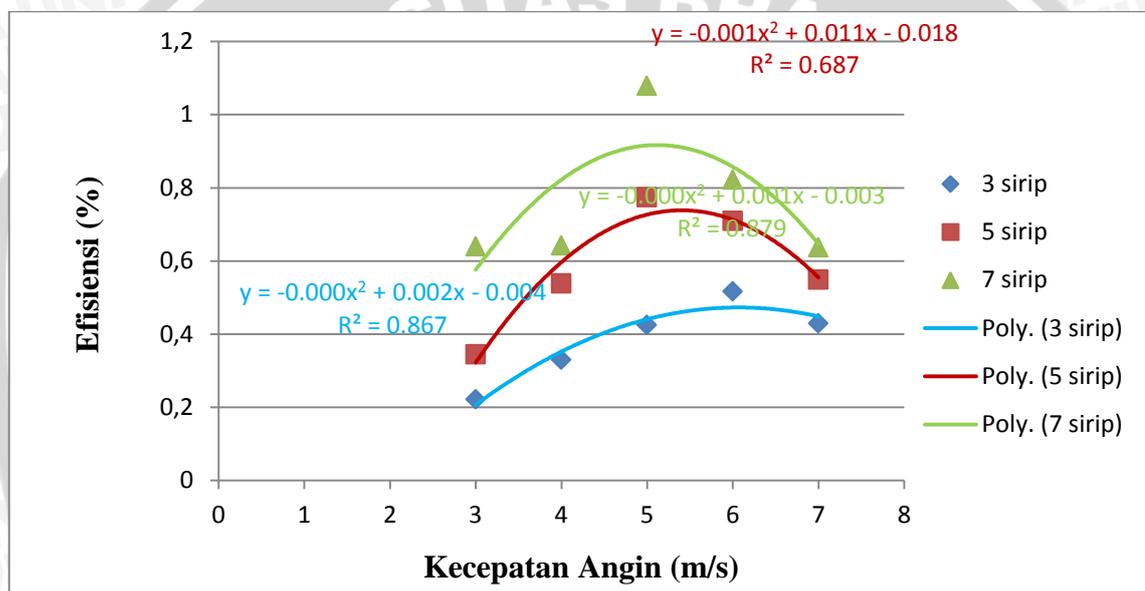
$$\text{BHP} = \frac{P_{\text{motor}}}{\eta_{\text{motor}}}$$

Untuk bilah dengan jumlah sirip 7 buah cenderung memiliki torsi yang lebih besar dari bilah dengan jumlah sirip yang lebih sedikit dari 7 buah, yaitu 3 buah dan 5 buah ketika masing-masing bilah tersebut berada pada kecepatan 3-7 m/s. Hal ini terjadi karena ketika arah angin berlawanan dengan arah bilah, angin akan lebih banyak

menumbuk pada bilah dengan jumlah sirip yang sedikit jika dibandingkan dengan bilah berjumlah sirip banyak.

Pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai torsi tertinggi dicapai oleh turbin dengan bilah bersirip 7 buah, yaitu sebesar  $2,929 \times 10^{-3}$  Nm. Kemudian diikuti dibawahnya oleh bilah bersirip 5 buah sebesar  $2,643 \times 10^{-3}$  Nm. Selanjutnya yang terakhir adalah bilah dengan jumlah sirip 3 buah dengan nilai torsi  $2,321 \times 10^{-3}$  Nm. Dari masing-masing bilah turbin tersebut, torsi tertinggi diperoleh pada saat kecepatan angin 7 m/s.

#### 4.2.3 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin terhadap Efisiensi



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi

Pada grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi dapat dilihat bahwa grafik cenderung naik kemudian mengalami penurunan. Efisiensi merupakan perbandingan antara output dengan input. Pada grafik diatas efisiensi tertinggi pada bilah dengan jumlah sirip 7 buah diikuti dibawahnya bilah dengan jumlah sirip 5 buah dan 3 buah. Hal ini dikarenakan BHP yang dihasilkan oleh bilah bersirip 7 buah cenderung lebih besar daripada keduanya.

Pada grafik diatas terlihat bahwa grafik mengalami penurunan setelah masing-masing dari bilah bersirip tersebut mencapai efisiensi puncaknya. Penurunan ini dikarenakan kenaikan BHP tidak sebanding dengan daya angin yang peningkatannya semakin besar seiring peningkatan kecepatan angin.

Pada graifik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi tertinggi yang diperoleh pada bilah dengan sirip 7 buah dan kecepatan angin sebesar 5 m/s dengan efisiensi sebesar 1,078 %.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan seperti yang dijelaskan dibawah ini:

1. Hasil pengujian dan pengolahan data menunjukkan bahwa jumlah sirip berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip.
2. BHP akan semakin meningkat seiring meningkatnya kecepatan angin karena momentum angin yang menumbuk bilah turbin semakin besar.
3. Torsi yang dihasilkan turbin angin tipe bilah bersirip semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin yang menumbuk bilah turbin.
4. Efisiensi paling tinggi yang diperoleh adalah 1,078 % pada kecepatan angin 5 m/s dengan bilah bersirip 7 buah.

#### 5.2 Saran

Dari kesimpulan diatas, maka penulis menyampaikan beberapa hal untuk penelitian lebih lanjut tentang kinerja turbin angin tipe bilah bersirip diantaranya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut dengan penggunaan generator yang tepat dan gearbox agar diperoleh hasil penelitian yang cukup memuaskan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh lebar bilah terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh berat bilah terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh jenis material bilah terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip.

